

에어컨의 쾌적기류 평가를 위한 생리신호 분석

이낙범¹, 임재중², 최호선³, 이주연³, 허덕³, 금종수⁴

전북대학교 대학원 메카트로닉스공학과¹

전북대학교 전자정보공학부²

LG 전자³

부경대학교 냉동공조공학과⁴

Physiological Analysis for the Evaluation of Comfort Flow on Air Conditioner

Nak Bum Lee¹, Jae Joong Im², Ho Seon Choi³,

Ju Youn Lee³, Deok Huh³, Jong Soo Kum⁴

Dept. of Mechatronics Eng., Chonbuk National Univ.¹

Division of Electronics and Information Eng., Chonbuk National Univ.²

LG Electronics Inc.³

Dept. of Refrigeration and Air-conditioning Eng., Pukyong National Univ.⁴

요 약

본 연구는 절전기능과 인체순응을 고려하여 개발된 에어컨의 쾌적기류를 평가하기 위해 기존 에어컨에 활용되어지고 있는 정속풍, 변동풍과 새롭게 적용되고 있는 개발풍을 비교하고자 수행하였다. 20명의 남녀 피험자를 대상으로 심전도를 측정하고 HRV 분석을 실시하여 남녀별로 비교한 결과 남녀 모두 개발풍, 변동풍, 정속풍의 순서로 HF/LF 값이 높게 나타났으며, 여성의 경우 정속풍은 무자극 조건에서보다 낮은 HF/LF 값을 나타내었다. 그리고 무자극에 대해서는 여성의 경우보다 남성의 경우가 변동풍과 개발풍의 기류제어 조건에서 크게 반응하였다. 남녀모두를 평균한 기류자극별 비교분석에서는 개발풍에서 가장 높은 HF/LF 값을 보였으며, 개발풍과 변동풍이 정속풍에 대하여 유의미한 차이를 나타내었다. 개인별로 각 자극에 대한 HF/LF 값을 계산하여 각 조건들에 대한 선호도를 조사한 결과, 14명이 개발풍에서 가장 높은 HF/LF 값을 나타내었고, 6명의 피험자는 변동풍에서 가장 높은 HF/LF 값을 보였다.

본 연구의 결과 새롭게 제시된 개발풍이 기존의 정속풍이나 변동풍에 대하여 더욱 쾌적한 기류임을 알 수 있었다.

서 론

최근 주택을 비롯하여 일반 건물에 대한 요구가 한층 다양화, 고급화됨에 따라 에너지 소비가 적으면서도 쾌적한 거주공간을 구현할 수 있는 에어컨의 개발이 강하게 요구되고 있다. 이와 같은 요구에 부응하기 위한 에어컨을 개발하기 위해서는 우선 어떤 온열환경이 거주자에게 바람직한가를 명확히 밝혀둘 필요가 있다.

인체의 온열 쾌적감에 영향을 미치는 요소들은 온도, 기류, 습도가 있으며 착의량, 대사량 등도 영향을 준다. 인간은 이와 같은 온열환경요소를 개별적으로 구별하여 온도만으로 춥거나 덥다하는 온냉감만 느끼는 것이 아니고, 심리적 상태에 의해 불쾌함도 느끼게 된다. 따라서 온열환경에서 발생하는 감각량의 변화를 물리량으로 변환하여 측정하여야 하고, 그 측정량을 제어하거나

조정하여 인간이 느끼는 쾌적 범위를 도출하여야 한다. 그러므로 온열환경에 대한 온열쾌적성 평가를 위해서는 피부온도와 체온의 변화, 주관적 설문평가 뿐만 아니라 인체의 생리적인 정보를 이용한 복합적인 평가가 필요하다. 따라서 최근 심전도 신호를 이용한 HRV 분석방법으로 인체의 감성변화를 관찰하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

교감신경계를 자극하면 기관지와 동공이 확장되고, 혈관이 수축하여 위장체계가 억제되고, 혈압과 심장의 고동소리 그리고 심장출력이 증가하고 땀의 분비가 늘어난다. 교감신경의 빠르고 산만한 활동과는 대조적으로 부교감신경계는 신체의 항상성을 유지하고 회복시키기 위해 작용하며, 부교감신경계를 자극하면 심장박동과 혈압이 감소하고, 기관지와 동공이 수축하고, 소화기능이 증진된다. 이러한 교감신경과 부교감신경은 매우 밀접한 상호작용을 하므로 어떤 주어진 신체변화가 교감신경계 활동 때문인지 아니면 부교감신경계 활동으로 인해 발생하는지를 결정하기가 어렵다. 예를 들면 동공의 확장은 교감신경계 활동에서의 증가 때문일 수도 있고, 혹은 부교감신경계 활동의 감소 때문일 수도 있고, 아니면 두 신경계가 모두 활동하여 나타날 수도 있다. 최근의 연구사례를 보면 강한 스트레스를 주는 조건이 아니라면, 부교감신경계가 심장박동의 증가와 감소를 매개한다고 알려져 있다.

심장의 박동은 혈압이나 호흡 그리고 체온과 같은 변수들처럼 외부의 영향에 대항하여 체내의 항상성을 유지하고자 지속적으로 변화하는데 이는 자율신경계의 통제하에 일어난다. 이와 같은 심박의 변화 정도를 심박변이도(HRV, heart rate variability)라 한다. 심박변이도는 심혈관계 조절 시스템, 자율신경계 기능을 연구하는 유용한 지표이며, 이것의 분석 방법으로서 가장 정량적이고 신뢰성 높은 것이 스펙트럼 분석법으로 알려져 있다.

심박변이도에 스펙트럼 분석을 적용하면 고주파(HF, high frequency), 저주파(LF, low frequency)의 전력 값을 얻을 수 있다. 일반적으로 0.15~0.50Hz 범위의 고주파 대역은 0.35Hz를 중심으로 최고치를 보이며 호흡빈도와 연관되어 있다. 고주파 대역의 심박변이도는 주로 심장 비주신경(부교감신경)의 활동에 기인하며, 0.04~0.15Hz 범위의 저주파 대역은 심장 비주신경 및 교감신

경 활동의 영향을 받고, 주로 교감신경성 혈관 긴장도 변화에 기인한다.

인간의 온열쾌적성에 영향을 미치는 온열환경 요소들 중 특히 기류는 동일한 온도영역에서 속도가 증가할수록 인체로부터 열을 많이 빼앗을 뿐만 아니라, 인체와 접촉을 통해 직접 인체에 큰 냉각효과를 발생시킨다. 또한 온열환경요소인 습도 및 복사열을 이용해서 시원함을 얻는 것보다 냉각효과도 크고, 인공적으로 기류를 발생시키는 방법도 간단하므로 쾌적영역을 확장시키기 위한 제어에 용이하다.

본 연구는 기류의 쾌적성 평가를 바탕으로, 생리신호 및 설문평가를 이용하여 기류변화를 통한 쾌적환경 제시를 위해 개발된 에어컨의 새로운 기류제어 방식을 기존 에어컨에 적용되고 있던 기류제어 방식과 비교하고자 하였다.

실험 방법

본 연구는 온도, 습도 및 기류를 제어하기 위해 온열환경 실험실을 만들어 실험을 실시하였다. 실험실은 4.1m×4.9m×2.7m의 크기이며 모든 벽과 천장, 바닥은 충분히 단열을 하여 벽면이 온도와 실내공기 온도가 거의 같도록 하였다. 임의 기류를 발생시키기 위한 기류발생기는 기존 에어컨을 사용하였으며 온도, 습도는 향온습습기를 이용하여 조절하였다. 피험자는 기류발생장치로부터 3m 떨어진 위치에 정좌하여 학습이나 독서를 할 수 있도록 하였으며, 실험실의 개략도가 그림 1에 나타나 있다.

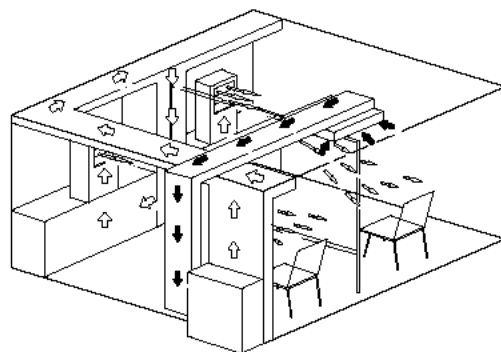


그림 1. 실험실 개략도

표 1. 피험자의 신체적 특징

피험자	인원	나이	신장 [cm]	체중 [kg]	표면적 [m ²]
여자	12	23.5 ±1.2	158.9 ±1.9	49.7 ±8.2	1.45 ±0.41
남자	12	26.4 ±0.7	172.5 ±5.5	61.4 ±7.3	1.72 ±0.11

예비실험 및 사전교육을 통해 신체적 질환이 없는 건강한 12명씩의 남녀 대학생 24명이 실험에 참가하였으며, 피험자의 신체적 특징이 표 1에 요약되어 있다. 피험자들은 모두 표준적인 착의량으로 맞추기 위해 동일한 유니폼을 착용하였으며, 실험 중 대사량은 의자에 앉아서 독서 및 가벼운 대화, 설문을 하고 있으므로 기존 연구자료와 비교하여 1.1 met로 가정하였다.

실험에 이용된 기류로는 상하풍향 가이드를 고정하여 일정기류를 제공하는 기류변화가 없는 정속풍과 상하풍향 가이드를 일정하게 상하로 변동시켜 기류변화를 주는 변동풍, 그리고 상하풍향 가이드의 변동 속도를 상향시와 하향시에 다르게 제시하여 기류의 변화가 많은 개발풍이 이용되었다.

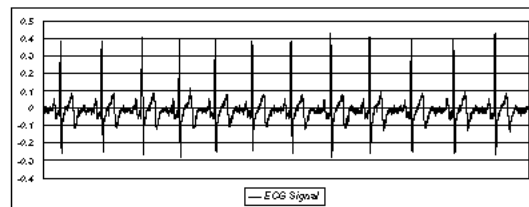
실험진행은 2인 1조가 되어 외부온도 조건에서 30분간 대기한 뒤에, 26°C/50%로 일정하게 제어되고 있는 실험실로 입실하여 에어컨 전방 3m 지점에서 실험을 실시하였고, 피험자 위치에서의 기류는 0.25m/sec가 되도록 하였다. 각각의 기류는 20분씩 제공하였으며, 각 기류조건 사이에는 5분의 시간을 주었다.

심전도의 측정은 자극제시 전에 대한 자극제시 후의 생리신호변화를 관찰하기 위해 전실조건과 각 기류조건에서 2분 동안 폴리그래프 장비를 통해 실시하였다. 심전도는 0.5mV/div의 감도를 가지도록 측정하였고, 80Hz의 저역통과 아날로그 필터를 적용하였으며 시정수는 0.3ms로 설정하였다. 측정되어진 심전도 신호는 512Hz로 샘플링되었고, A/DDT-3001)변환기를 통해 분석용 컴퓨터에 저장하였다. 심전도 측정법은 표준 전극 유도법으로 chest의 절대 값의 크기를 가장 크게 나타낼 수 있는 Lead II 전극부착법을 사용하였고, 전극은 표면전극인 Ag/AgCl 전극을 사용하여 측정하였다.

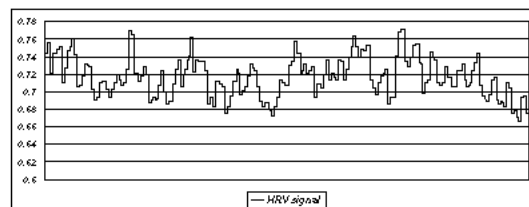
데이터 분석

HRV분석에 있어서의 R-R 간격의 정확한 측정은 주파수 스펙트럼 분석에서 매우 중요하며, 작은 오차에도 민감하다. R-R 간격의 정확한 측정에 방해가 되는 것은 측정 노이즈, 근전도에 의한 노이즈, 전극의 움직임에 기인한 노이즈의 세 가지 요인이 주를 이룬다. 따라서, 미국심장학회에서는 500Hz 이상의 샘플링 주파수로 기록된 심전도로부터 R-peak를 검출하는 것을 추천하고 있다.

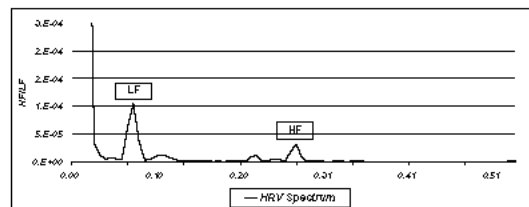
본 실험을 통해 측정되어진 심전도 신호의 R-peak 검출은 Berger가 제안한 피크검출 알고리즘을 이용하였다. 심전도 데이터로부터 호흡과 피험자의 움직임에 의한 심전도의 기저선(baseline)의 움직임을 초래할 수 있는 1Hz이하의 성분과 전극이 위치해 있는 곳에서의 근전도 등의 잡음을 제거하기 위해 통과대역이 1~80Hz인 디지털 대역통과 필터를 이용하여 신호 대 잡음비를 높였다. 필터에서는 헤닝 윈도우를 사용하였고, 필터의 계수는 200으로 설정하였으며, 검출된 피크를 이용하여 우선한 시점의 R-peak와 다음 시점의 R-peak 간의 시간 간격을 구하였다. 그림 2에 HRV 분석과정을 도시하였다.



(a) 심전도 신호



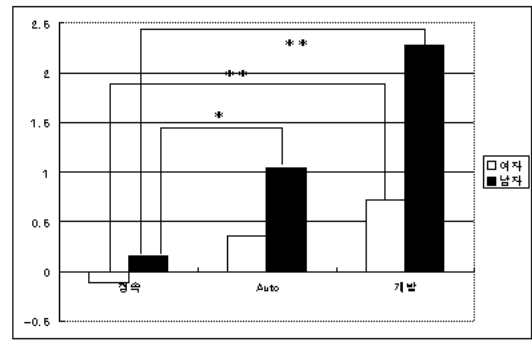
(b) HRV 신호



(c) HRV 스펙트럼

그림 2. HRV 분석과정

이로부터 얻어진 시간간격의 이벤트 시리즈를 등시간 간격으로 새로운 시간축에 재배열하여 HRV 데이터를 구성하였다. 이 때 2분 동안의 R-peak의 수에 보간법을 이용하여 샘플링 주파수를 10배 증가 시켰다. 이렇게 얻어진 HRV 파형으로부터 파워스펙트럼분석을 통하여 최종적인 HRV 스펙트럼을 구성하였다. 그리고 개개인 피험자의 특성 값을 고려하기 위하여 자극 전 측정값에 대한 HF/LF 값과 자극 후 측정값에 대한 HF/LF 값의 변화를 비교하는 방법으로 정규화 하였다.



* P<0.05, ** P<0.01

그림 3. 남녀별 비교분석 결과

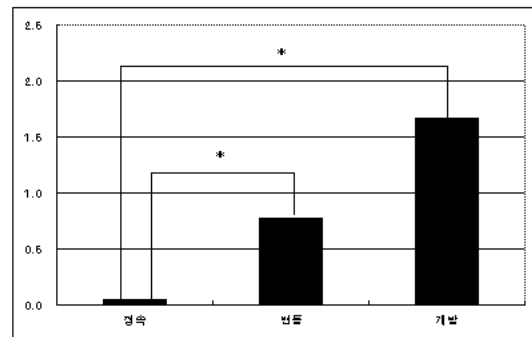
결과 및 토의

HRV 분석결과 노이즈로 인해 파형분석이 불가능한 여자 4명을 제외한 남자 12명과 여자 8명의 데이터를 이용하였다.

남녀별로 HRV 분석을 통해 나타난 정규화된 HF/LF 값을 비교한 결과를 그림 3에 나타내었다. 남녀 모두 개발풍, 변동풍, 정속풍의 순서로 HF/LF 값이 높게 나타났으며, 여성의 경우 정속풍은 무자극시보다 낮은 HF/LF 값을 나타내었으며, 여성의 경우보다 남성의 경우가 무자극에 대하여 변동풍과 개발풍에서 크게 반응하였다. 여성의 경우는 정속풍과 개발풍 기류조건에서 유의미한 차이를 나타내었으며, 남성의 경우에는 정속풍과 변동풍 기류조건에서 유의미한 차이를 나타내었다. 이는 여성의 경우, 일정하고 강한 기류조건은 선호하지 않으며, 남녀 모두 일정한 기류보다는 기류의 변화가 있는 조건을 선호한다고 생각할 수 있다.

남녀모두를 평균한 기류자극별 비교분석 결과를 그림 4에 나타내었다. 그 결과 개발풍에서 가장 높은 HF/LF 값을 보였으며, 개발풍과 변동풍은 정속풍에 대하여 유의미한 차이를 나타내었다. 이것은 일정한 기류와 변화하는 기류는 기류 쾌적성 측면에 있어 분명한 차이가 있음을 나타내고 있다.

총 20명의 피험자들의 각 자극에 대한 HRV 분석결과를 종합한 결과 피험자의 70%가 세 가지 기류 중에서 개발풍에서 HF/LF 값이 가장 높게 나타났고, 피험자의 80%가 정속풍 기류조건에서 HF/LF가 가장 낮게 나타났다. 이 결과에서도 일정한 기류인 정속풍과 변화가 많은 기류인 개발풍에 대해 느끼는 기류쾌적성의 차이는 분명함을 알 수 있었다.



* P<0.05, ** P<0.01

그림 4. 기류자극별 분석결과

결론

HRV 분석을 통하여 기류조건에 따른 인체의 기류쾌적성 평가를 실시한 결과 기류의 변화가 많은 개발풍과 변동풍의 기류조건이 기류변화가 없는 정속풍의 기류조건에 비하여 HF/LF 값이 크게 나타났으며, 유의미한 차이를 나타내었다. HF/LF의 값이 교감신경과 부교감신경의 활동을 반영한다고 볼 때 HF/LF 값의 상승은 부교감신경계의 활동이 더욱 우세함을 보여주기 때문에 개발풍과 변동풍은 정속풍에 비하여 쾌적한 기류조건으로 나타났다. 실험결과를 통해 기류변화가 인체의 쾌적감에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 따라서 에어컨의 동작에서 기류의 변동을 이용하면 에너지 절약효과 뿐만 아니라, 쾌적감을 향상시키는 데 큰 도움을 줄 수 있다. 그리고 생리신호 측정을 통한 HRV 분석을 이용하면 기류변화 따른 인체의 쾌적성을 평가하는데 있어 객관적인 지표로 이용될 것이라고 생각한다. 향후 기류요소를 포함한 온열쾌적성에

영향을 주는 다른 요소들에 대한 쾌적성 평가가 정량화 된다면, 인간에게 쾌적감을 주는 최적의 온열환경을 구현하는데 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] P. O. Fanger, "Thermal Comfort", McGraw-Hill Book Company, 1972.
- [2] S. Tanabe, "Thermal Comfort Requirements in Japan", Waseda University, 1988.
- [3] A. Malliani, M. Pagani, F. Lombardi, et al., "Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain", J. Auton. Nerv. Syst., vol 30, pp103-108, 1990.
- [4] M. Bootsma, C. Swenne, H. Van Volhuis, et al., "Heart rate and Heart rate variability as indexes of sympathovagal balance", Am. J. Physiol., vol 226, pp.1565-1571, 1994.
- [5] 김동규, "한국인의 온열쾌적감 평가 및 평가지표의 적용성에 관한 연구", 부경대 냉동공학과 박사학위 논문, pp.14-42, 1998.
- [6] 금종수, "온열쾌적감 측정기술 및 DB개발", 제 9회 G7 감성공학 감성요소 기술개발 및 DB 구축 Workshop 자료집, 1997.
- [7] 금종수, "한국인에 맞는 쾌적지표의 검증과 기준data의 추출에 대한 최종보고서", 부산수산대학교 산업기술연구소, 1993.